

SISMICITE ET EVALUATION DU RISQUE SISMIQUE DANS LE MAROC ORIENTAL

Brahim BENTALEB¹, Taj-Eddine CHERKAOUI¹, Georges HERQUEL¹,
Hassan JEBLI¹ et Abdelkrim RIMI¹

ملخص

ابراهيم بنطالب، تاج الدين الشرفاوي، حسن الجبلي، جورج هرقل، عبد الكريم الريمي.
زلزلة وتقييم الخطر الزلزالي في المغرب الشرقي. تهدف هذه الدراسة إلى استعمال نموذج زمكاني يعتمد على
توزيع بواسون لتقييم الخطر الزلزالي في الريف الشرقي.

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est d'utiliser un modèle spatio-temporel basé sur la distribution de Poisson pour l'évaluation du risque sismique dans le Rif oriental.

SUMMARY

Sismicity and seismic risk evaluation in eastern Morocco. The target of this study is the use of a spatiotemporal model based on Poisson's distribution for evaluation of seismic risk in the eastern Rif.

CADRE GÉOTECTONIQUE

La zone concernée par la présente étude englobe une partie du Rif oriental au Nord et la prolongation du Moyen Atlas de direction NE-SW qui l'entoure au Sud.

On ne reprendra pas ici la description détaillée des diverses unités géologiques connues dans la région. Cependant on peut dire que le Nord du Maroc a été conditionné au cours de son évolution par les mouvements relatifs de la plaque Europe et de la plaque Afrique. Une diversité de modèles d'évolution ont été élaborés, mais sont souvent différents selon les auteurs et les méthodes et moyens d'investigations géologiques et géophysiques utilisés.

On dressera un récapitulatif des phases tectoniques récentes et une description sommaire des diverses unités structurales par lesquelles passera la voie ferrée envisagée.

PHASES TECTONIQUES

Le domaine rifain en partie marin jusqu'à la fin du Tertiaire, au style tectonique alpin, est formé de terrains largement charriés du Nord vers le Sud recouvrant un autochtone atlasique. Son histoire géologique est complexe et controversée. Ce sont les mouvements ponto-plio-quaternaires à composantes surtout verticales qui ont donné au Rif l'allure que nous lui connaissons. Il ressort des conclusions du Groupe de recherche néotectonique de l'Arc de Gibraltar en 1977

¹Service de Physique du Globe, Institut Scientifique, B.P. 703, RABAT-Agdal.

que , depuis le Tortonien jusqu'à l'actuel , l'ensemble de la région de l'avant-pays rifain à l'avant-pays ibérique a subi des mouvements de socle se traduisant par la formation de bassins dans les zones en distension et par des plissements parfois intenses dans les zones en compression . Dans l'avant-pays oriental , ces phases de déformation sont accompagnées d'un volcanisme alcalin et calco-alcalin(BELLON & al., 1974). En récapitulant , on peut dresser la succession des phases tectoniques suivantes :

- 1- Une phase de compression se terminant il y'a 12 m.a. environ, visible surtout au Maroc et en Algérie.
- 2- Une phase d'extension généralisée dans tout le domaine Ibéro-Maghrébin ; distension ayant duré une dizaine de millions d'années avec mise en place de failles normales et création de bassins d'effondrement lieux d'une sédimentation importante.
- 3- Une phase de compression actuelle à partir du Quaternaire ancien.

Actuellement on assiste au rejeu de certains accidents , se comportant comme des zones de faiblesse devant cette compression générale, et se manifestant par une activité sismique notable , conséquence d'une collision de type continent-continent entre la plaque Afrique et la Plaque Europe.

GEOLOGIE REGIONALE

La région intéressée par cette étude couvre le domaine des nappes rifaines au Nord-Ouest pour passer vers le Sud-Est au domaine de l'avant pays oriental jusqu'à la chaîne des horsts au Sud d'Oujda.

On y trouve sommairement une succession d'unités structurales orientées en gros NE-SW , depuis les zones épimétamorphiques du domaine rifain externe (Tamsane-Beni Saïd-Ras Afrau) jusqu'au Maroc Nord-Oriental lequel est constitué d'une alternance de horsts ou anticlinaux et de bassins d'effondrement de type graben le long desquels se sont accumulés des sédiments mio-pliocènes et dont la subsidence continue parfois encore (plaine de Nador).

Au sein de ces bassins surgissent des appareils volcaniques néogènes et quaternaires. Les directions prédominantes de ces structures et des accidents qui les limitent sont NE-SW à ENE-WSW.

Le massif de Beni Bou Ifrou, constitué de formations jurassico-crétacées de structure complexe , est traversé par un réseau de failles NE-SW.

Plus à l'Est s'étend sur 40 km le chaînon de Kebdana, unité chaotique dont la mise en place sur le parautochtone jurassique à miocène est tectonique comme en témoignent les écaillages qui s'y sont développés(DE LUCA, 1978).

Le bassin sédimentaire plioquaternaire de la Basse Moulouya sépare Kebdana des Beni-Snassen lesquels se présentent sous forme d'un bombement anticlinal d'axe ENE-WSW. Cependant on y distingue deux secteurs géologiquement distincts :

- L'anticlinal des Beni-Snassen orientaux dont les plissements importants et les reliefs aigus ont permis à l'érosion d'atteindre le noyau paléozoïque voire l'intrusion granitique.
- Un système de failles WSW-ENE traverse les formations jurassiques du flanc nord du massif et guide toute une suite de horsts et de grabens.

- L'anticlinal des Beni-Snassen occidentaux, à faible courbure s'étale largement vers le sud jusqu'à l'Aïoun et Taourirt, il est traversé par un réseau de failles parallèles à la Moulouya et des failles transversales. A l'Ouest de la Moulouya les directions atlasiques se compliquent par des accidents plus méridiens bien visibles dans les massifs des Beni Bouyahi.

ACCIDENTS MAJEURS

- La faille du Nekor de direction N 45 est un décrochement senestre auquel se raccorde la majorité des accidents proches ayant joué en décrochements et rejoué tardivement en failles normales délimitant ainsi les bassins subsidents du néogène post-nappe.

Un accident majeur semble lier, en échelon, l'accident du Nekor à Agadir en passant par le Moyen Atlas (HATZFELD, 1978).

- La faille de Miliya parallèle à celle du Nekor est mise en évidence en quelques points.

Elle est marquée par la variation brusque de direction des lignes isanomales de la partie Nord de l'anomalie gravimétrique du Rif et par les isogammes NE-SW qui bordent les anomalies magnétiques de l'avant-pays oriental.

Elle sépare l'avant-pays peu déformé des zones plissées et épimétamorphiques du domaine externe. Cette faille a joué un rôle principal dans l'évolution tectonique du Rif depuis le miocène (VIDAL, 1977).

On peut citer d'autre part, des accidents de moindre extension régionale et de type senestre :

- accident N 45 au SE des Tamsane.
- accident N 45 au nord et au sud du massif de Beni Bou Ifrou.
- accident au nord du massif de Kbdana de direction N 75.
- accident au nord du Khebaba N 75 (DE LAMOTTE, 1979)

SISMICITE ET TECTONIQUE

La carte sur laquelle on a représenté les épicentres déterminés pour l'époque allant de 1901 à 1980 a été tirée de la carte structurale du Rif et de la carte géologique d'Oujda au 1/500 000, y figurent les principales failles reconnues à cette échelle.

La région de l'avant-pays oriental ne montre pas une forte activité sismique et correspond à la zone IV pour laquelle aucun calcul n'a été entrepris, tandis que la partie extrême occidentale de la région connaît une sismicité notable, surtout en mer, et correspond aux zones I et III dans cette étude, qui avec la zone II couvrent le Rif oriental et son prolongement Nord en mer Méditerranée.

On remarque que certains épicentres s'alignent suivant la direction d'accidents connus, tels que les failles de Nekor, de Kbdana et celles du massif des Beni Bou Ifrou.

SISMICITÉ HISTORIQUE

L'enregistrement et la détermination des épicentres des séismes pour le Maroc et les régions voisines a commencé à partir de 1901. Nous considérons alors tout événement antérieur à cette date comme séisme historique.

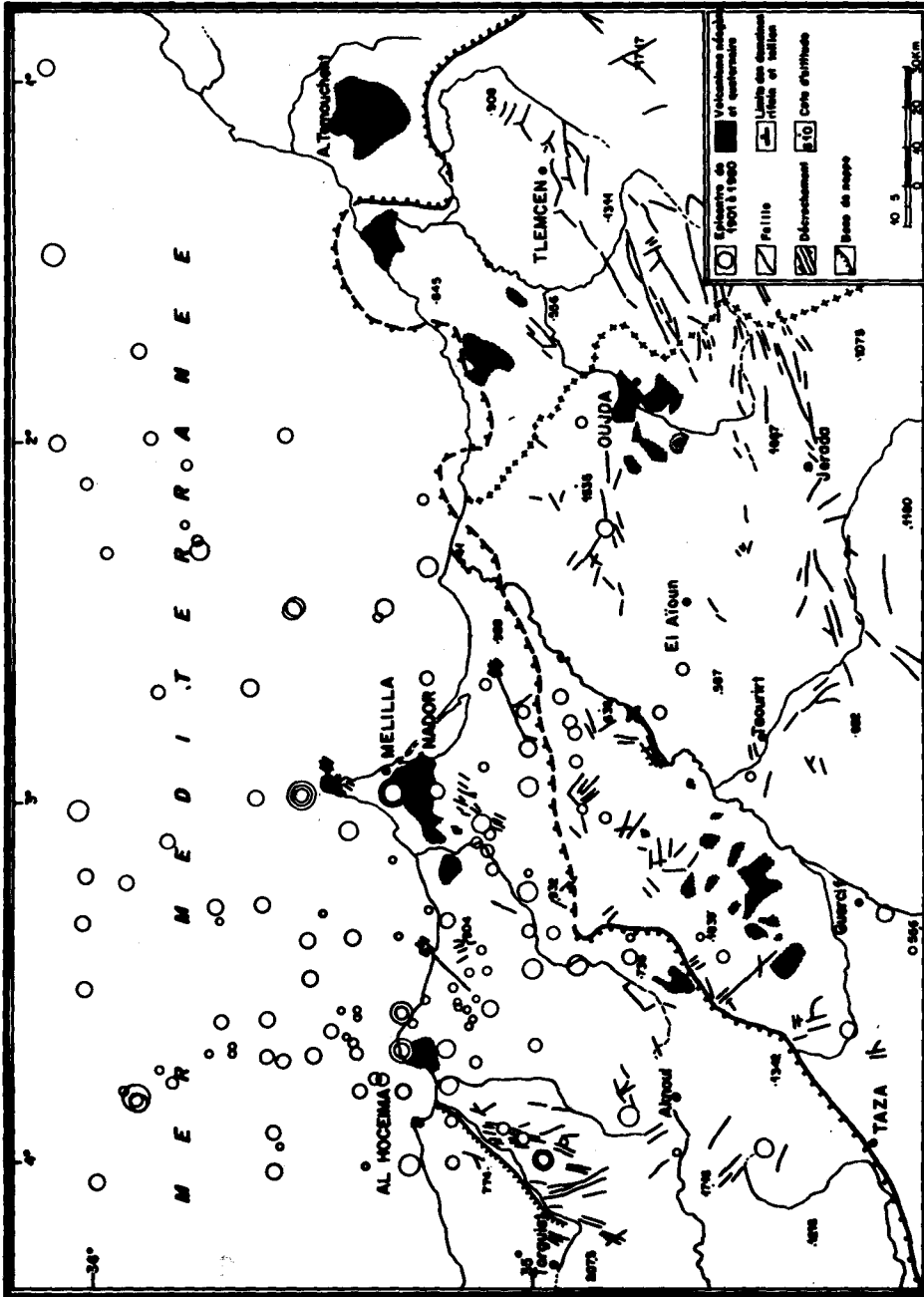


Fig. 1: SISMICITE ET TECTONIQUE DANS LE MAROC NORD-ORIENTAL

Les notes relatives aux séismes historiques au Maroc sont de différentes origines: arabes, espagnoles, françaises, Les chroniques des villes du Maroc qui ont fourni aux auteurs une documentation intéressante, donnent à certaines régions du Maroc une importance sismique exagérée. Ces données historiques ne donnent pas une information scientifique fiable, mais elles peuvent être prises en considération, avec prudence, pour l'évaluation du risque sismique de la région étudiée.

Nous donnons aux tableaux I, II et III les listes des séismes ressentis à Mliliya, Al Hoceima et régions, ainsi que celle des séismes dont les notes rapportent qu'ils ont été ressentis au nord du Maroc sans préciser la ville ou les villes atteintes.

Pour plus de détails sur ces notes voir G. ROUX (1934) et J. GALBIS RODRIGUEZ (1932).

Tableau I : Liste de séismes historiques ressentis à Mliliya et sa région

Date de l'événement	Heure	Coordonnées			Io	Remarques
		lat	long			
1 mars 1579		35°.30N	3°.00W	VII	Mliliya	
5 août 1660		35°.30N	3°.00W	VII	"	
27 septembre 1682	01h 45	35°.30N	3°.00W		"	
28 septembre 1682					Replique du précédent	
2 octobre 1682					" du 27 septembre	
21 octobre 1713	20h 30	35°.30N	3°.00W	VI	Mliliya	
1 novembre 1755	09h 50	37°.00N	10°.00W	XI	Destructeur. Séisme dit de Lisbonne	
27 novembre 1755	11h 00	37°.00N	10°.00W		Replique du précédent	
29 novembre 1755	03h 00	37°.00N	10°.00W		" du 1 novembre	
3 octobre 1790		35°.30N	3°.00W		Mliliya	
25 octobre 1790		35°.70N	0°.60W		Oran (Algérie)	
8-30 octobre 1791					21 secousses	
4-30 novembre 1791					14 secousses	
1-30 décembre 1791					34 secousses	
1-27 janvier 1792					24 secousses	
10 et 18 février 1792					3 secousses	
14 et 16 mars 1792					3 secousses	
11 mai 1792					1 secousse	
31 août 1792		35°.30N	3°.00N	VIII	Mliliya	
1 septembre 1792					3 secousses	
2 septembre 1792					2 secousses	
31 août 1794		35°.30N	3°.00W		Mliliya	
13 janvier 1804	17h 45	36°.70N	3°.50W	VIII	Grenade (Espagne)	
8 avril 1821	02h 30	35°.30N	3°.00W	VIII	Mliliya (repliques ressenties jusqu'au 9 mai)	
avril 1848					Mliliya (plusieurs secousses)	
21 juillet 1858	05h 00	35°.30N	3°.00W		Mliliya	
11 juin 1887					Secousses ressenties à Mliliya	
6-7 novembre 1887					Secousses ressenties à Mliliya	
8 mars 1893	02h 00	35°.28N	2°.92W		Mliliya	
13 juin 1899		35°.28N	3°.00W		Mliliya	

Tableau II : Liste de séismes historiques ressentis à AL Hoceïma et sa région

Date de l'événement	Heure	Coordonnées		Io	Remarques
		Lat	Long		
1 novembre 1755	09h 50mn	37°.00N	10°.00W	XI	Destructeur, Séisme dit de Lisbonne
1 octobre 1792		35°.20N	4°.25W		Al Hoceïma
31 octobre 1792		35°.20N	4°.25W	VI	"
24 mai 1795	01h 30mn	35°.20N	4°.25W		"
24 août 1795					2 secousses
9 août 1801		35°.30N	4°.10W	VII	53 secousses durant la période 5 sep. 1800 au 23 fév. 1802
3 septembre 1802		35°.20N	4°.25W		Al Hoceïma
26 septembre 1802					3 secousses
30 décembre 1802		35°.20N	4°.25W	VI	4 secousses
31 décembre 1802					5 secousses
3 janvier 1803		35°.30N	4°.10W		Al Hoceïma
8 juillet 1848		35°.20N	4°.30W	VII	"

Tableau III : Liste de séismes historiques ressentis probablement à Miliya et Al Hoceïma

Date de l'événement	Heure	Coordonnées		Io	Remarques
		Lat	Long		
(29 chaoual 269); 880		42°.20N	2°.50E		Grenade (Espagne)
19 juillet 1110					Ressenti au Maroc
(12 chaoual 568) 1172					Ressenti au Maroc
5 avril 1504	09h 30	37°.40N	5°.60W	XI	Seville (Espagne)
26 janvier 1531		37°.00N	12°.00W	XI	Océan Atlantique
9 octobre 1680		36°.50N	4°.40W	IX	Malaga (Espagne)
9 octobre 1790	01h 15	35°.70W	00°.60N	X	Oran (Algérie)
25 décembre 1884	23h 40	36°.90N	4°.00W	V	Grenade (Espagne)

EVALUATION DU RISQUE SISMIQUE

APERÇU THEORIQUE

Des modèles de risque sismique sont fréquemment élaborés pour synthétiser toute l'information et les connaissances générales sur la sismicité d'une région où une activité sismique potentielle existe, afin d'obtenir les probabilités pour que des événements de différentes intensités ou magnitudes aient lieu dans un site donné et pour une période de temps donnée.

L'incertitude statistique des paramètres peut avoir un effet important sur l'évaluation du risque sismique dans les problèmes d'engineering, et spécialement quand on cherche une grande

précision avec un petit nombre de données . Des modèles statistiques pour l'analyse du hasard sismique ont été proposés et illustrés par plusieurs spécialistes (ESTEVA , 1969 , 1974 et VENEZIANO, 1975) . Ces modèles statistiques devraient permettre de prédire l'activité sismique future probable dans une région donnée. Le modèle le plus simple et le plus fréquemment utilisé est un modèle de Poisson spatio-temporel, basé sur les hypothèses suivantes (LOMNITZ, 1974).

Il suppose que les séismes se produisent au hasard dans le temps, leur nombre par an est une variable aléatoire et que leur magnitude M est une variable aléatoire avec une fonction de distribution cumulative de la forme :

$$F(M) = 1 - \exp(-\beta M_L)$$

où M_L est la magnitude locale et β est une constante. Nous allons donc appliquer ce modèle pour l'évaluation du risque sismique.

Nous avons utilisé, pour cette étude, les données du fichier du service de physique du globe, pour la période 1901-1980 concernant la région comprise entre 34°N et 36°N, 1°W et 4°W . Le risque sismique R est défini par la relation suivante (LOMNITZ, 1974)

$$R = 1 - \exp(-\tau / T) \quad (1)$$

R : probabilité d'avoir au moins un séisme d'une magnitude $< M_L$ dans une période τ
 τ : période de référence
 T : période de récurrence

Pour évaluer R on doit faire appel à la relation fondamentale (GUTENBERG & RICHTER , 1942) qui lie la magnitude à la fréquence cumulée des séismes.

$$\log \Sigma N = (a - b M_L) \pm \xi \quad (2)$$

ΣN : fréquence cumulée des séismes de magnitude $\geq M_L$
 M_L : magnitude locale
 a, b : constantes
 ξ : déviation standard

Cette relation est à la base de toutes les estimations de la récurrence des séismes à l'intérieur d'une zone sismique, pour une unité de temps et de surface.

Pour une surface S et pour une période d'observation t on a (BATH, 1979) :

$$\ln(S \Sigma N/t) = (a' - b' M_L) \pm \xi' \quad (3)$$

t : période d'observation
 a', b' : constantes
 ξ' : déviation standard

$$\log \Sigma N = 0,4343 a' + \log t - \log S - 0,4343 b' M_L \pm 0,4343 \xi' \quad (4)$$

avec $\log s = 0,4343$

En identifiant les paramètres des équations (2) et (4) on trouve les relations suivantes:

$$\begin{aligned} a' &= (a - \log t + \log S) / 0.4343 \\ b' &= b / 0.4343 \\ \xi' &= \xi / 0.4343 \end{aligned} \quad (5)$$

Si $\frac{1}{T} = \frac{S \Sigma N}{t}$, nous aurons une nouvelle expression pour le risque sismique R qui est la suivante:

$$R = \exp(-\tau S \Sigma N/t) \quad (6)$$

En combinant (3) et (6) nous aurons:

$$R = 1 - \exp\{-\tau \exp(a' - b' M_L)\} \quad (7)$$

Et l'erreur sur R est donnée par :

$$|dR| = | \xi(1-R) \text{Ln} (1-R) | \quad (8)$$

APPLICATION

Nous avons divisé la région étudiée en quatre zones de $1^{\circ}.00 \times 1^{\circ}.50$ (fig. 2). Comme il y a une faible activité sismique dans la zone IV, nous avons évalué le risque sismique pour les zones I, II et III seulement. Les valeurs de a, b et ξ sont données par le tableau IV et la relation (2) pour chaque zone est illustrée par les fig. 3a, 3b, 3c.

A partir des valeurs de a, de b et de ξ nous avons calculé les valeurs de a' , b' et ξ' ; en utilisant les relations (5), (6) et (7), la surface de la zone I est prise comme surface de référence et la période d'observation $t = 80$ ans (tab. V).

Les valeurs du risque sismique R pour chaque zone sont données par les tableaux VI et VII, pour $\tau = 1$ an et $\tau = 50$ ans, et illustrées par les courbes des fig. 4a, 4b, 4c.

Tab. IV.

Zone	a	b	ξ
I	7.05	1.22	0.14
II	4.84	0.90	0.09
III	4.68	0.83	0.19

Tab. V.

Zone	S	a'	b'	ξ'
I	1.00	11.85	2.81	0.32
II	1.00	6.66	2.07	0.21
III	0.99	6.38	1.91	0.30

Le risque sismique R se définit comme la probabilité en pourcentage qu'un séisme de magnitude $\geq M_L$ se produise dans une région donnée, au cours d'une période de prévision τ années données.

Valeurs de R + dR (%) pour $\tau = 1$ an (Tab. VI.)

M_L Zone	$M_L \geq 4$	$M_L \geq 4.5$	$M_L \geq 5$	$M_L \geq 5.5$	$M_L \geq 6$	$M_L \geq 6.5$	$M_L \geq 7$
I	84±9	36±9	10±3	3±1	1±0		
II	18±3	7±1	2±0	1±0	0		
III	25±6	10±3	4±1	2±0	1±0		

Valeurs de R + dR (%) pour $\tau = 50$ ans (Tab. VII.)

M_L Zone	$M_L \geq 4.0$	$M_L \geq 4.5$	$M_L \geq 5.0$	$M_L \geq 5.5$	$M_L \geq 6.0$	$M_L \geq 6.5$	$M_L \geq 7.0$	$M_L \geq 7.5$
I	100.	100.	100±0	74±11	28±8	8±2		
II	100±0	97±2	71±7	36±6	15±3	5±1	2±0	1±0
III	100.	100±1	88±8	55±11	27±7	11±3	4±1	2±1

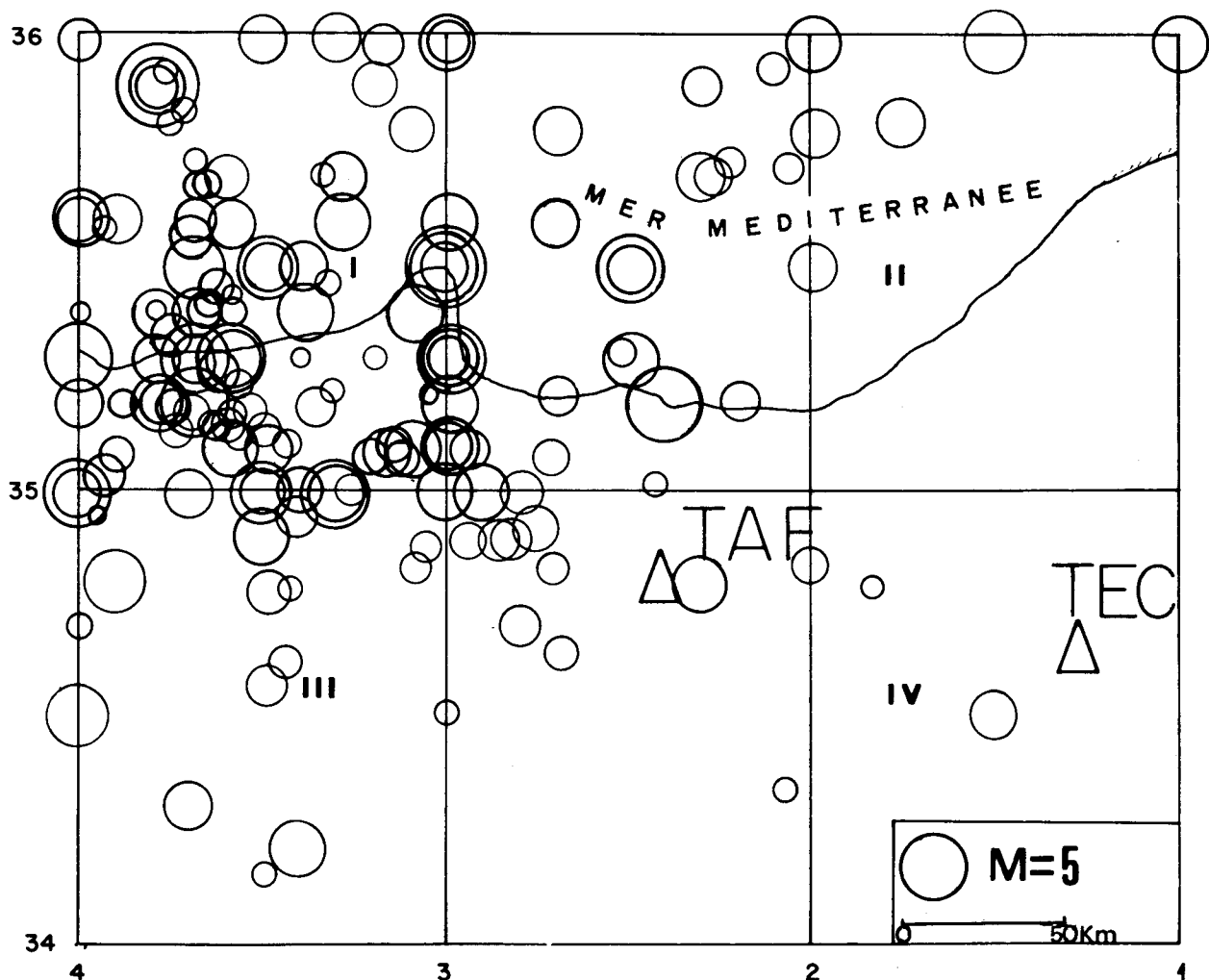
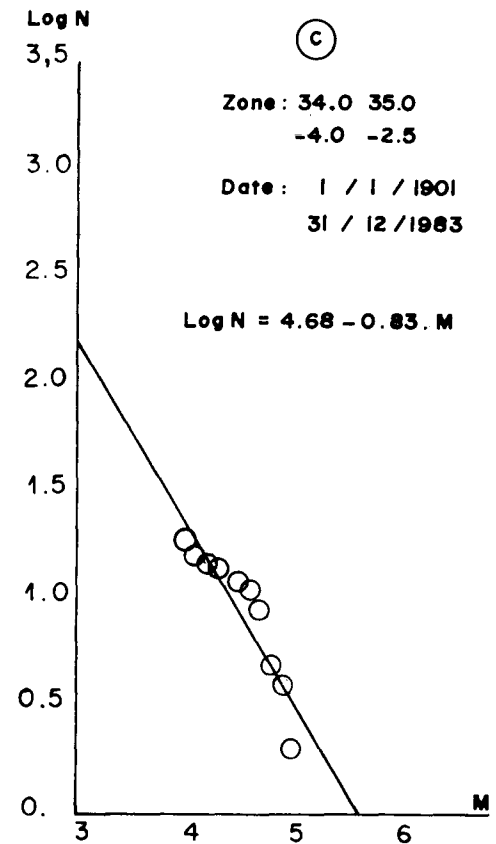
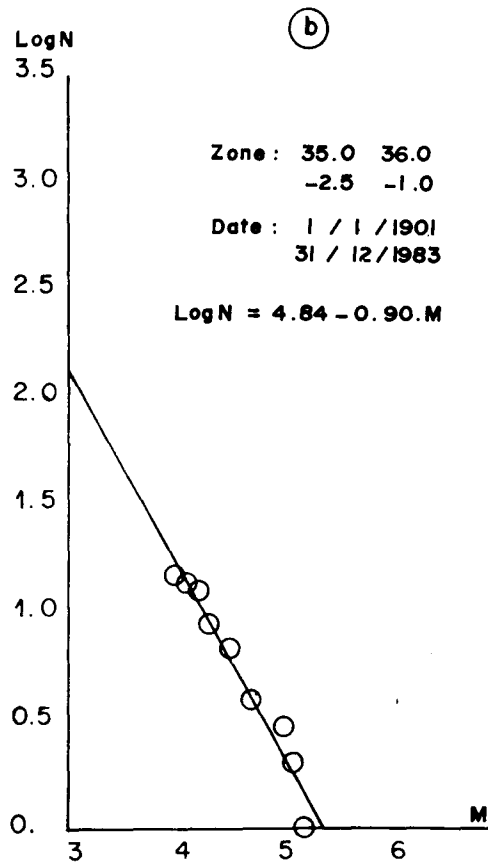
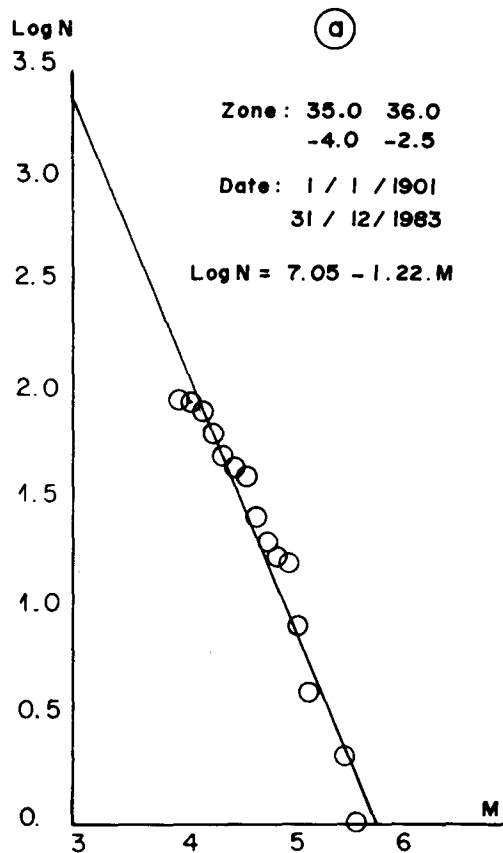


Figure 2: Carte des epicentres des séismes de 1901 à 1980
 (liste en annexe).
 Δ Station sismologique.



Figures 3(a,b,c) : Loi cumulative Log N (N est le nombre de séismes de magnitude supérieure ou égale à M_L) en fonction de la magnitude M_L pour les trois zones.

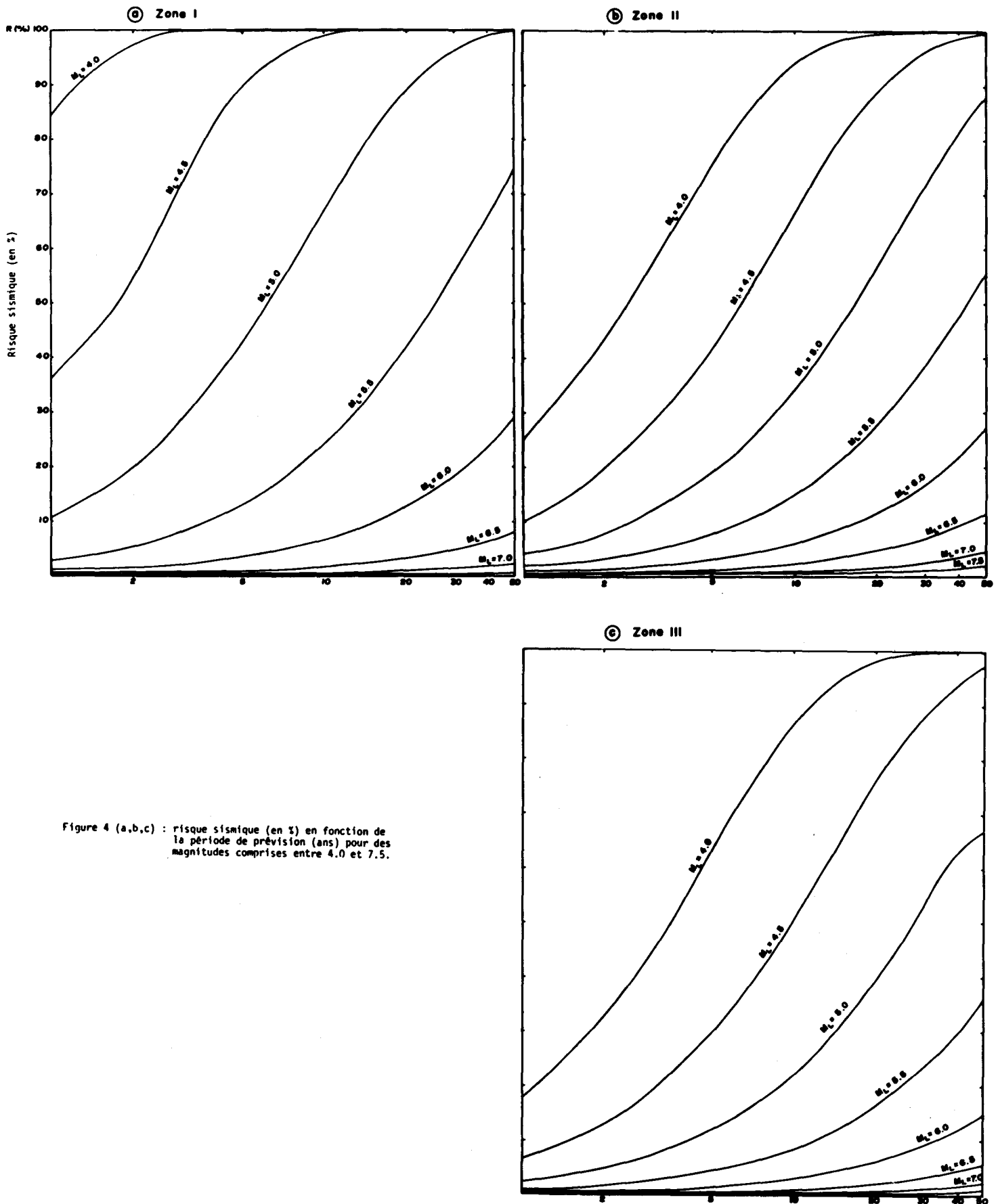


Figure 4 (a,b,c) : risque sismique (en %) en fonction de la période de prévision (ans) pour des magnitudes comprises entre 4.0 et 7.5.

EVALUATION DE L'INTENSITE ET DE LA MAGNITUDE MAXIMALES PROBABLES

Le problème de la magnitude et de l'intensité maximales pour une région donnée est particulièrement important à étudier. La question à laquelle il faudrait répondre, c'est quelle serait la probabilité de l'apparition d'un séisme d'une magnitude $\geq M$ dans une région donnée ?

L'intensité maximale observée dans la région du projet, compte tenu de la sismicité historique et instrumentale, est de VII, cependant nous avons relevé dans la région de l'Ovale Bético-Rifain des intensités de VIII. Ainsi nous attribuons à la région une intensité maximale probable de VIII.

La relation Magnitude-Intensité de Karnik (1969) pour la région: $M=0.67 I_o+0.15$ donne une magnitude de 5,5 qui nous semble sous estimée. Nous avons basé notre évaluation du risque sismique sur une période d'observation de 80 années et l'homogénéité du fichier pour cette région nous permet une estimation fiable de la magnitude maximale probable sur 50 ans (fig.4a, 4b, 4c).

Ainsi nous obtenons 6.5 pour les zones I et III et 6.3 pour la zone II.

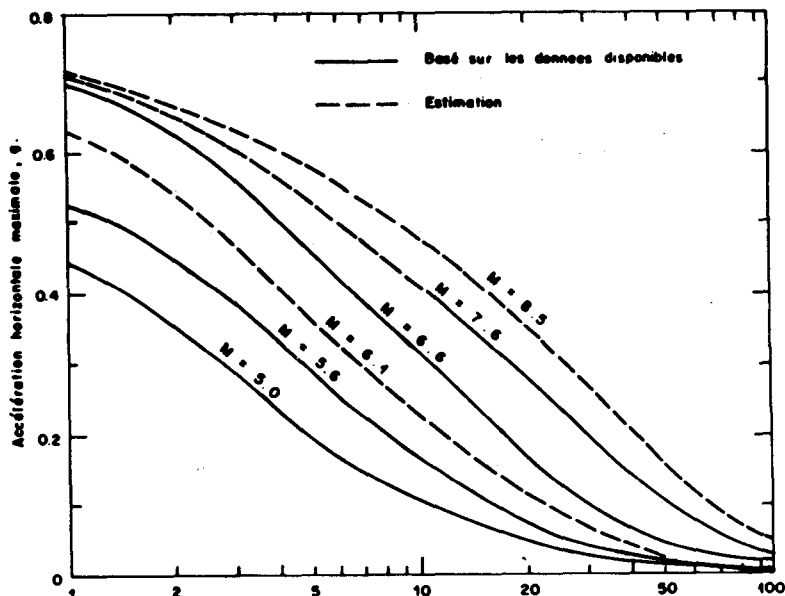
ESTIMATION DE L'ACCELERATION MAXIMALE PROBABLE

On préfère en général évaluer la valeur de l'accélération du sol plutôt que d'autres paramètres (vitesse, amplitude,), car elle est souvent utilisée dans les calculs de génie civil. Les relations accélération maximale magnitude ou/et intensité (moins fiables) sont nombreuses; nous n'en disposons pas de spécifique pour la région faute d'accélérogrammes.

Pour un séisme de référence, de magnitude 6.5 ($I_{MM} = VIII$) attribué à une faille située à 15km de la voie projetée et à une profondeur focale de 10 km; les accélérations maximales calculées (voir tableau VIII) sont de l'ordre de 0.26 à 0.41 g. Housner (1970) donne 0.29g. L'accélération horizontale maximale déduite des courbes de Seed et Idriss (1982) (fig.5) est de 0.30 g environ.

Ainsi nous proposons 0.30g comme accélération horizontale maximale probable pour la région.

Figure 5 : Atténuation de l'accélération maximale dans le rocher avec la distance



Distance horizontale par rapport à l'épicentre, mi d'après EERI Monograph No 5 by Seed and Idriss (1982)

Tab. VIII

Auteur	Relation proposée	Remarque	Valeur de a
Orphal & Lahoud (1974)	$a_h = 6.6 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{0.4M} R^{-1.39}$	R = 20km M = 6.5	0.41 g
Trifunac & Brady (1975)	$\log a_h = 0.30 I_{MM} + 0.014$		0.26 g
Murphy & O'Brian (1977)	$\log a_h = 0.14 I_{MM} + 0.24 M - 0.68 \log D + 0.73$	D = 15km M = 6.5	0.41 g

I_{MM} : Intensité mesurée sur l'échelle Mercalli Modifiée

a_h : Accélération horizontale.

R : Distance focale en km.

D : Distance épacentrale en km.

M : Magnitude locale.

BIBLIOGRAPHIE

- BATH, M. (1979). - Seismic risk in Turkey. *Tectonophysics*, 54 : T9-T16.
- DE LUCA, P. (1978). - L'unité chaotique des Kbdana (région de Zaio, Maroc). Relation structurale avec l'avant pays du Rif Oriental. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 7, 20, 3 : 339-343.
- ESTEVA, L. (1969). - Seismicity prediction : A Bayesian approach. *Proc. World Conf. earthquake Eng. 4th, Santiago, Chile*, 1, 172-184.
- ESTEVA, L. (1974). - Geology and probability in the assesment of Seismic risk analysis. *Proc. Inter. Congress Intern. Assoc. Eng. Geologists*, 2d, Sao Paulo, Brazil.
- ÉRIZON DE LAMOTTE, D. (1979). - Contribution à l'étude de l'évolution structurale du Rif Oriental. Thèse 3^{ème} cycle, Paris-Sud, 175 p.
- GALBIS RODRIGUEZ, J. (1932). - *Catalogo sismico de la zona comprendida entre los meridianos 5°E. y 20°W. de Greenwich y los paralelos 45° y 25°N.* Madrid.
- GUTENBERG, B. & RICHTER, C.F. (1942). - Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 32, p. 163.
- HATZFELD, D. (1978). - *Etude séismotectonique de la zone de collision Ibéro-Magrébine.* Thèse d'Etat, Univ. Sci. Méd. Grenoble.
- HOUSNER, G. W. (1970). - *Strong ground motion in earthquake engineering.* Prentice-Hall, Inc., New-Jersey.
- KARNIK, V. (1969). - *Seismicity of the European Area.* 1, D. Reidel, Dordrecht, 364 p.
- LOMNITZ, C. (1974). - *Global tectonics and earthquake risk.* Elsevier, Amsterdam, 320 p.
- ORPHAL, D. L. & LAHOUD, J. A. (1974). - Prediction of peak ground motion from earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 64, 5 : 1563-1574.

- ROUX, G. (1934). - Notes sur les tremblements de terre ressentis au Maroc avant 1933.
Mém. Soc. Sci. Nat. du Maroc, 39 : 42-71.
- SEED, H. B. & IDRIS, I. M. (1982). - EERI Monograph N°5
- VENEZIANO, D. (1975). - Probabilistic and statical models for seismic risk analysis, Massachusetts. *Inst. Tech. Dept. Civil Eng. Rept.* R 75-34.
- VIDAL, J. C. (1977). - Structure actuelle et évolution depuis le Miocène de la chaîne Rifaine (partie de l'arc de Gibraltar). *Bull. Soc. Géol. France*, 7, 19, 4 : 789-796.

#	NO	DATE	HEURE	LAT N	LONG	PROF	NS	RMS	ERH	ERZ	MAG	I0	REMARKS
#	101*	626	1968-4-17	9-12-4.30	35.200	-3.700	16.00				5.0		UN SFG:V(BOUDINAR)...
#	102*	631	1968-7-4	21-59-25.00	35.600	-3.900					4.2		IN (M(L))
#	103*	633	1968-7-29	18-18-41.40	35.200	-2.200	28.00				4.0		IN USCGS:M-3.9(LCSS:M-4.9
#	104*	634	1968-8-5	2-17-59.00	35.000	-4.000	1.00				4.1		IN (M(L))
#	105*	636	1968-9-2	12-38-22.10	35.000	-2.900	1.0				4.6		IN (M(L))
#	106*	637	1968-9-5	13-22-41.40	35.100	-3.000	15.00				4.4		IN (M(L))
#	107*	639	1968-9-13	3-5-53.00	35.000	-2.000	15.00				4.0		IN SFG:IV(VT(ZA10))
#	108*	642	1968-10-30	11-41-56.90	35.100	-3.600	34.00				4.6		UN SFG:IV(M.HOCFINA)
#	109*	691	1970-3-22	10-3-22.00	34.300	-3.700	14.00				4.5		IN IV(MSQUN,TAZA,TADPTE)
#	110*	692	1970-4-7	9-16-13.90	34.800	-3.900	N				4.9		UN VI(BOU-ILMA,HOCFINA)...
#	111*	704	1972-2-7	6-59-56.22	34.830	-3.890	39.10	10	1.16	10.60	95.00	3.6	
#	112*	720	1972-7-20	2-49-58.61	34.700	-2.600	37.20	9	0.70	16.90	31.00	3.9	
#	113*	723	1972-8-14	4-6-31.22	34.890	-2.860	8.00	17	0.84	6.10	7.00	4.0	
#	114*	728	1972-11-2	7-45-23.46	34.950	-3.410	75.16	14	1.34	8.50	28.00	3.8	
#	115*	734	1972-12-17	17-14-25.26	34.930	-2.710	34.26	6	0.66	29.90	52.00	3.5	
#	116*	735	1972-12-17	19-6-56.54	34.890	-2.940	5.54	15	0.89	6.90	9.00	3.7	
#	117*	765	1973-3-26	17-21-44.85	35.200	-3.890	2.30	10	0.31	7.00	12.00	3.5	
#	118*	770	1973-4-10	12-43-46.58	34.920	-2.760	5.54	8	0.25	2.20	3.00	4.0	
#	119*	771	1973-4-15	2-48-14.33	34.900	-2.830	22.86	8	0.10	11.10	29.00	3.9	
#	120*	794	1973-8-24	10-50-55.71	35.870	-1.860	5.00	16	0.84	6.30	9.00		
#	121*	834	1974-2-21	23-51-31.15	35.190	-3.350	49.41	15	1.19	7.20	35.00	3.9	
#	122*	836	1974-3-6	27-44-51.66	35.210	-2.700	61.64	13	0.78	6.50	11.00	3.9	
#	123*	846	1974-4-7	4-22-24.37	35.400	-3.590	83.76	9	1.27	14.70	26.00	3.1	
#	124*	870	1974-7-14	2-55-25.60	35.400	-3.710	83.76	9	1.01	2.90	5.00	4.3	
#	125*	871	1974-7-18	8-32-15.86	35.460	-3.640	1.25	12	0.62	4.60	9.00	3.5	
#	126*	878	1974-10-30	14-37-44.87	35.110	-3.150*	44.86	11	1.06	9.10	30.00	4.0	
#	127*	879	1974-10-31	8-18-50.24	35.060	-3.220	48.99	10	1.05	10.10	36.00	3.7	
#	128*	886	1974-10-31	12-36-28.65	35.090	-3.170	52.76	11	1.13	10.50	31.00	4.2	
#	129*	882	1974-11-2	4-6-32.35	35.110	-3.440	79.76	7	0.90	20.50	47.00	3.1	
#	130*	885	1974-11-16	8-59-23.34	35.090	-2.720	51.41	5	0.48	23.00	39.00	3.5	
#	131*	892	1975-1-9	13-28-36.75	35.360	-3.770	5.00	14	1.26	5.00	11.00	3.7	
#	132*	893	1975-1-11	16-35-15.93	35.350	-3.770	1.75	12	1.33	6.50	16.00	3.8	
#	133*	894	1975-1-11	20-51-19.87	35.410	-3.670	5.00	9	0.98	6.30	16.00	3.5	
#	134*	895	1975-1-13	7-17-55.69	35.820	-1.760	16.79	11	0.69	6.50	21.00	4.4	
#	135*	896	1975-1-17	1-52-43.86	35.400	-3.640	27.69	7	0.71	7.10	27.00	3.1	
#	136*	906	1975-3-29	1-53-37.50	35.990	-3.180	2.25	14	1.11	5.60	10.00	3.9	
#	137*	908	1975-5-4	19-58-49.95	34.840	-2.810	1.00	6	0.43	19.00	17.00	3.7	
#	138*	940	1975-11-5	2-1-47.75	35.730	-2.230	5.00	6	0.95	24.20	19.00	3.4	
#	139*	946	1975-11-18	11-19-13.28	35.150	-3.640	2.00	8	0.42	7.60	7.00	3.3	
#	140*	947	1975-11-27	11-4-42.51	35.700	-2.280	1.25	13	0.70	6.60	5.00	3.7	
#	141*	948	1975-12-2	5-18-57.08	35.720	-2.070	38.87	11	0.48	4.70	25.00	3.6	
#	142*	949	1975-12-2	15-24-3.40	35.160	-3.540	16.96	6	1.33	31.60	73.00	3.5	
#	143*	950	1975-12-3	7-2-29.98	35.240	-3.570	51.65	5	0.30	12.10	72.00	3.2	
#	144*	951	1975-12-3	7-14-27.49	35.170	-3.590	5.00	6	0.51	9.90	18.00	3.2	
#	145*	952	1975-12-3	12-25-1.86	35.150	-3.600	27.31	6	0.50	5.90	47.00	3.4	
#	146*	953	1975-12-3	19-24-2.84	35.140	-3.580	79.45	10	0.97	7.50	26.00	3.5	
#	147*	955	1975-12-7	10-17-38.11	35.144	-3.740	2.42	8	0.83	3.90	10.00	3.5	
#	148*	962	1976-1-5	1-27-12.18	34.780	-3.480	78.61	6	1.00	16.60	26.00	4.1	
#	149*	969	1976-2-8	19-51-13.18	35.040	-3.940	3.00	8	0.28	18.40	24.00	3.8	
#	150*	975	1976-3-30	22-57-3.74	35.270	-3.630	126.20	10	0.50	3.70	6.00	3.7	

#	NO	DATE	HEURE	LAT N	LONG	PROF	NS	RMS	ERH	ERZ	MAG	I0	REMARKS
#	151*	997	1976-6-14	8-35-11.51	34.420	-3.440	5.00	5	0.14	19.60	36.00	3.5	
#	152*	1016	1977-5-28	7-59-40.90	34.570	-3.490	11.54	7	0.61	9.50	98.00	3.8	
#	153*	1030	1977-6-30	14-19-44.96	34.950	-3.960	1.75	9	0.62	4.70	13.00	2.5	
#	154*	1041	1977-7-15	6-41-50.57	35.190	-3.760	5.60	20	0.97	3.70	8.00	3.7	
#	155*	1049	1978-2-12	13-12-23.20	35.380	-3.130	5.60	7	1.74	13.40	54.00	3.6	
#	156*	1054	1978-2-12	9-33-41.76	34.640	-2.690	54.78	9	0.67	8.50	9.00	3.6	
#	157*	1061	1978-3-28	1-17-11.39	35.690	-3.670	48.98	9	0.83	5.40	44.00	3.6	
#	158*	1078	1978-5-11	16-13-50.99	35.020	-2.470	8.69	10	1.03	15.20	11.00	2.9	
#	159*	1075	1978-6-4	9-42-13.63	35.940	-2.110	2.50	6	0.94	10.76	4.00	3.5	
#	160*	1108	1979-1-6	16-1-15.80	34.790	-1.830	53.40	3	0.73	15.63	12.90	2.7	
#	161*	1116	1979-2-5	16-35-49.38	35.220	-3.350	1.00	4	0.83	6.99	7.90	3.0	
#	162*	1121	1979-2-26	12-14-22.22	35.430	-3.587	121.73	4	0.11	1.42	1.65	2.8	
#	163*	1123	1979-2-21	19-2-32.55	35.926	-3.772	30.00	4	1.13	11.33	1.00	2.9	
#	164*	1136	1979-2-28	8-10-44.00	34.780	-4.060	1.60		1.00	1.00	2.0	2.9	
#	165*	1142	1979-3-10	3-32-2.00	35.400	-4.000	1.00		1.00	1.00	2.0	2.6	
#	166*	1147	1979-3-2	3-10-46.17	35.843	-3.720	30.00	5	1.84	9.63	1.00	3.2	
#	167*	1148	1979-3-12	3-29-0.00	34.500	-3.000	N		1.00	1.00	3.2		
#	168*	1150	1979-3-15	4-45-12.00	35.679	-3.687	33.00	5	0.58	5.96	1.00	3.4	
#	169*	1157	1979-3-16	6-46-55.00	35.400	-3.980	1.00		1.00	1.00	2.5		
#	170*	1168	1979-4-2	1-10-33.50	35.733	-3.688	31.93	3	1.36	18.19	1.00	2.9	
#	171*	1169	1979-4-2	15-14-49.27	35.915	-3.756	38.00	5	1.19	11.42	1.00	3.4	
#	172*	1172	1979-4-17	8-20-54.89	34.145	-3.494	30.00	4	1.25	14.85	1.00	3.0	
#	173*	1180	1979-4-23	22-19-24.76	35.308	-2.523	30.00	3	0.70	7.94	1.00	3.2	
#	174*	1185	1979-4-26	20-46-47.58	35.300	-3.260	1.00	3	1.00	1.00	2.8		
#	175*	1186	1979-4-26	21-12-42.50	35.300	-3.400	1.00	3	1.00	1.00	2.4		
#	176*	1223	1979-12-9	9-57-42.85	34.783	-3.431	30.00	3	0.99	11.05	1.00	3.0	
#	177*	1368	1980-3-29	13-54-35.39	35.129	-3.574	20.36	5	1.17	13.63	14.74	3.4	REGION D'AL HOCFINA
#	178*	1382	1980-5-10	-1-41-28.30	35.583	-3.936	30.60	3	1.93	20.00	1.00	2.8	REGION D'AL HOCFINA
#	179*	1395	1980-5-31	20-1-35.89	35.782	-3.342	31.00	3	0.52	6.89	1.00	2.9	REGION D'AL HOCFINA
#	180*	1396	1980-5-31	26-29-44.46	35.224	-3.315	33.50	3	1.33	14.21	1.00	2.9	REGION D'AL HOCFINA
#	181*	1378	1980-6-1	20-13-25.32	34.877	-3.662	30.00	5	1.71	15.80	1.00	3.5	REGION DE MADROR
#	182*	1405	1980-6-14	10-54-42.69	35.856	-2.942	30.00	5	1.59	15.81	1		

N	NO	DATE	HEURE	LAT N	LONG	PROF	MS	RMS	FRH	ERZ	MAG	TO	REMARQUES
*	1*	4 1982-6-12	13-20	0.40	35.310	-3.800					4.6		M* RESS. (MELILLA) A) TO: (VII) ...
*	2*	5 1982-7-9	13-26	0.00	35.300	-3.800					5.0		M* VI (KING ILLA) A) TO: (VII) ...
*	3*	16 1980-7-14	6-55	0.00	35.300	-3.000	N				5.2		M* RESS. (MELILLA)
*	4*	29 1918-2-11	7-26	0.00	35.300	-3.800					4.6		M* VI (MELILLA)
*	5*	43 1918-8-13	4-37-54.00		35.300	-3.000					5.0		M* VI (MELILLA)
*	6*	51 1911-5-28	14-30	0.00	35.500	-3.500					4.6		M* VI (AL HOCEIMA), RESS. (MELILLA)
*	7*	66 1913-5-13	12-20	0.00	35.800	-3.100					4.2		M* II (AL TOUNJ)
*	8*	72 1915-3-28	17-50	0.00	35.300	-3.000					5.0 (VF)		M* D. GATS A MELILLA
*	9*	74 1915-6-28	1-54-43.00		35.300	-3.000					4.8		M* IV (MELILLA)
*	10*	78 1915-8-18	17-57	0.00	35.500	-3.000	N				4.2		M* III (MELILLA)
*	11*	79 1915-16-2	6-45	0.00	35.500	-3.500	N				5.0 V		M* RESS. (AL HOCEIMA, BENT SAID)
*	12*	80 1915-11-4	14-49	0.00	35.200	-3.000	N				4.6		K. 71* SPGM:14-50-24;M=4.2 A,D)
*	13*	81 1915-11-4	14-53	0.00	35.200	-3.000	N				4.8		K. 71* SPGM:M=4.2;III (MELILLA)
*	14*	82 1915-11-5	2-26	0.00	35.200	-3.000	N				4.6		K. 71* SPGM:M=4.3;III (MELILLA)
*	15*	84 1915-3-9	4-25	1.00	35.510	-3.000	N				5.1		M* RESS. (MELILLA)
*	16*	102 1919-7-29	19-25	1.00	34.810	-2.300	N				4.5		K. 71*
*	17*	169 1921-5-9	7-25-10.00		34.500	-1.500	N				4.4		K. 71*
*	18*	114 1922-8-2	6-10-45.00		35.500	-2.500	N				4.2		M* RESS. (MELILLA)
*	19*	149 1926-10-11	6-38-52.00		35.900	-3.000	N				5.6 VIII		K. 71* SPGM:35.5-4.1;M=5.8 ...
*	20*	158 1926-10-15	6-47-45.00		35.300	-3.610	N				5.0		K. 71* SPGM:35.1-4.3;M=4.6 ...
*	21*	151 1926-10-11	6-59	0.00	35.900	-3.000	N				4.1		K. 71*
*	22*	152 1926-10-15	7-53	0.00	35.300	-3.610	N				4.4		K. 71*
*	23*	153 1926-10-17	4-34	0.00	35.500	-2.800	N				4.3		K. 71* SPGM:35.5-2.5;M=3.8
*	24*	154 1926-10-28	8-42-24.00		35.530	-3.700	N				4.9 VII		K. 71* SPGM:35.4;M=3.8
*	25*	156 1926-11-4	21-8-30.00		35.400	-3.400	N				4.3		K. 71* SPGM:35.2-2.9;M=4.2
*	26*	157 1926-11-13	8-47	0.00	35.300	-3.000	N				4.6 IV		M* IV (MELILLA, GOURBOUDU)
*	27*	158 1926-11-17	21-31-36.00		35.360	-2.500	N				4.5		K. 71* SPGM:M=5.8;VI-VII;HOCEIMA
*	28*	164 1927-2-26	4-24	5.00	35.610	-3.800	N				4.6		M* AL BORNAN
*	29*	176 1927-8-14	8-8	0.00	35.600	-4.800	N				4.2 VI		K. 71*
*	30*	172 1927-9-8	8-52-53.00		35.500	-3.700	N				5.1 VII		K. 71* SPGM:M=5.9;VII (AL HOCEIMA)
*	31*	173 1927-9-10	7-7-15.00		35.310	-3.700	N				4.2		M*
*	32*	175 1927-9-12	16-48-27.00		35.300	-3.700	N				4.2		SPGM:35.3-3.8
*	33*	176 1927-9-13	1-11-33.00		35.300	-3.700	N				4.6		M* IV (CAP QUILATES)
*	34*	177 1927-9-21	14-9-31.00		35.500	-2.500	N				4.2		M* III (CAP N°3 4 FOURCHES)
*	35*	178 1927-9-30	6-42-0.00		35.500	-2.500	N				4.2		K. 71*
*	36*	180 1927-12-3	8-9-18.00		35.900	-2.300	N				4.1		K. 71* NUM:M=3.8
*	37*	186 1928-2-15	6-8-8.00		34.200	-3.400	N				4.7		K. 71*
*	38*	199 1929-7-10	14-55	0.00	35.200	-2.400	N				5.2		M* VI (CHAI FARTHAS, MELILLA)
*	39*	201 1929-8-14	6-39-24.00		35.600	-4.800	N				4.6 (VI)		K. 71* NUM:M=(5.0)
*	40*	245 1934-2-16	1-33-56.00		34.800	-3.400	N				4.2		M* III (MALAGA)
*	41*	211 1936-7-19	9-5-20.00		35.210	-3.800	N				4.1		K. 71* SPGM:M=3.9;RESS. (HOCEIMA)
*	42*	216 1938-12-10	22-4	0.00	35.100	-3.800	N				4.2		M* III A SEIGURNE (MELILLA)
*	43*	217 1938-12-24	14-27-43.00		34.500	-4.800	N				4.8 VII		M* VII (GATS A BENT TOUZINE)
*	44*	219 1931-7-16	16-82-14.00		35.700	-2.300	N				4.5		K. 71* NUM:36 -3-2;M=4.2
*	45*	228 1931-9-11	21-19	0.00	35.900	-3.700	N				4.3		M* VII (RESS. INADOR, MELILLA)
*	46*	237 1934-5-26	3-57-30.00		35.200	-4.800	N				4.3		K. 71* SPGM:4-45;M=5...
*	47*	251 1935-19-16	7-54-21.00		35.600	-4.800	N				5.0		M* VI (GUEZENAYA, OUED ROUANE)
*	48*	253 1935-11-15	6-57-42.00		35.500	-4.800	25.00				5.1		M* VI (AL HOCEIMA)
*	49*	224 1941-12-6	8-33-56.00		35.630	-3.000	25.00				4.7		M* IV (CAP DES 3 FOURCHES)
*	50*	338 1944-3-3	17-17	8.00	35.410	-3.300	29.10				4.7		M* IV (AZIB EL HIDAR)